

УДК 628.96:621.311.1.004.183

**З. Я. Монастирський**, докт. техн. наук,  
Інститут електродинамики НАН  
України

**К. К. Намітоков**, докт. техн. наук  
Харківська національна академія  
міського господарства  
тел. (057) 707 – 32 – 42

## **АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК**

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Діяльність сучасного людства неможлива без електричного освітлення. До 20 % загального енергоспоживання й до 60 % енергоспоживання суспільних будівель у розвинутих країнах припадає на долю освітлювальних установок різноманітного призначення. У зв'язку зі значними затратами, пов'язаними з нарощуванням виробництва електроенергії, вичерпністю більшості традиційних енергоресурсів і негативним впливом процесу виробництва електроенергії на екологічну ситуацію на планеті, необхідно підвищувати ефективність її використання. У повній мірі це відноситься й до світлотехнічної галузі, яка виключно на освітлення споживає близько 19 % від усього глобального виробництва електроенергії (близько 2650 ТВт·год /рік ), перевищуючи сумарне її виробництво всіма атомними електростанціями світу.

**Аналіз літературних джерел та публікацій** показав [1 - 8], що існують екстенсивні та інтенсивні способи підвищення енергоефективності штучного освітлення. *Перші* ґрунтуються на безпосередньому підвищенні енергоефективності джерел світла та світлових приладів. *Другі* дозволяють підвищити енергоефективність освітлювальних установок (ОУ) за рахунок оптимізації режимів їх експлуатації, розміщення світильників у залежності від конкретних зорових задач, розширення використання природного освітлення (ПО) [9]. До цієї групи відносяться: оптимізація розміщення світильників у залежності від конкретних зорових задач, розширення використання природного освітлення та використання автоматичних або автоматизованих систем управління освітленням (АСУО). Під автоматичним управлінням тут і надалі будемо розуміти автономну роботу АСУО без втручання людини. Якщо екстенсивні способи підвищення енергоефективності ОУ набули широкого розповсюдження, то інтенсивні все ще знаходяться в стадії розробки.

**Це вказує на актуальність проведення досліджень** щодо дієвості інтенсивних способів підвищення енергоефективності ОУ.

**Результати досліджень.** Зниження енергоспоживання в суспільних будівлях у порівнянні із традиційними (не регульованими) ОУ при використанні АСУО із плавним регулюванням забезпечується наступними методами [10- 14]:

- зниженням потужності ОУ при збільшеному, у порівнянні з розрахунковим значенням, номінальному потоці світильників на початку середньої тривалості світіння джерел світла (компенсація спаду світлового потоку);
- зниженням потужності ОУ у випадку, якщо фактична кількість світильників перевищує необхідну, наприклад, по архітектурно-будівельним міркуванням або за рахунок округлення кількості світильників при розрахунках (компенсація надлишкового світлового потоку);
- урахуванням наявності природного освітлення у світлий час доби шляхом зниження потужності ОУ до досягнення нормованих значень сумарної штучної та природної освітленості;
- відключенням ОУ або переводом штучного освітлення в черговий режим у приміщеннях у разі відсутності людей;
- виключенням роботи ОУ в неробочий час, святкові та вихідні дні тижня.

Автоматичне управління ОУ дає можливість здійснювати повний контроль факторів, які визначають споживання електричної енергії: *поточної потужності ОУ та тривалості її роботи*. Під поточною потужністю споживача енергії будемо розуміти діюче значення потужності споживача в розглядуваний момент часу. Економічність АСУО є їх найбільш важливою особливістю в умовах експлуатації, коли чіткий контроль за роботою ОУ й персональна відповідальність за витрати електроенергії (ЕЕ) реалізувати важко. У першу чергу, це відноситься до зовнішнього освітлення та освітлення виробничих і суспільних будівель. У перших двох випадках проблема практично вирішена за рахунок широкого впровадження астрономічних реле часу (зовнішнє освітлення) і спеціальних диспетчерських служб, на які покладена відповідальність за експлуатацію ОУ. Неохопленими цим процесом залишилися найбільш розповсюджені у світі суспільні будівлі, де очікуються найбільш високі показники відносної економії електроенергії. Саме в них найбільшу частку складають приміщення з низьким рівнем відповідальності користувачів за роботу освітлення й тому вони найбільш цікаві з точки зору впровадження АСУО.

Початок серійного виробництва й широкого впровадження автоматичних пристроїв співпало з періодом стрімкого розвитку напівпровідникової елементної бази (початок 60-х років ХХ століття). Принцип дії цих пристроїв ґрунтувався на повному або частковому вимкненні освітлювального навантаження при перевищенні природної освітленості заданого рівня. І навіть при такому примітивному алгоритмі роботи вони забезпечували суттєву економію ЕЕ, наприклад, на сходинкових клітках житлових будинків.

Сучасні АСУО дозволяють знизити поточну потужність ОУ при наявності ПО в приміщенні (фактично здійснюючи перехід від штучного до суміщеного освітлення), відключити світильник або перевести їх у черговий режим при відсутності в приміщенні людей, а також виключити можливість роботи ОУ в неробочий час за сигналами таймерів

Оприлюднені дані про загальні об'єми економії ЕЕ мають суттєвий розкид. Це пояснюється неузгодженістю вибору «базового» варіанту при порівняннях. Наприклад, в [15] в якості традиційної ОУ прийнята установка з електромагнітними пускорегулювальними апаратами, у зв'язку із чим наведена загальна економія ЕЕ в АСУО включає також і економію за рахунок переходу від електромагнітних до електронних ПРА. Крім того, дані отримані на ОУ різного типу і в різних світлокліматичних зонах. Тому доцільно розглядати не окремі значення економії ЕЕ, а їхню частку в загальному об'ємі зекономленої електроенергії при застосуванні різних методів управління освітленням. У даних різних авторів спостерігається наступний характерний розподіл цих часток (рис. 1).

Ручне регулювання світлового потоку ОУ має мінімальну енергоефективність, а іноді може привести й до від'ємного результату. Це пояснюється тим, що зниження потужності ОУ здійснюється, як правило, у темний час доби коли користувач установлює на робочому місці рівень освітленості, менший нормованого. При появі ПО ОУ, як правило залишається ввімкненою (по причині забудькуватості) на

попередньому рівні. Цей психологічний феномен пояснюється [16] тим, що в користувача з'являється потреба змінити освітленість тільки тоді, коли вона нижче необхідного рівня. Якщо рівень освітленості потому зростає, про необхідність відрегулювати або відключити ОУ зазвичай забувають.

Ручне астрономічне вимкнення ОУ, яке також компенсує ефект забудькуватості користувачів освітлення, може принести економії ЕЕ тільки в тому випадку, коли контроль над роботою світильників був повністю відсутній (наприклад, у великих учбових закладах).

Урахування присутності людей дозволяє добитися найбільш чіткого виключення ситуацій недоцільної роботи ОУ. Недоліком цього методу управління є скорочення СТС ДС за рахунок переходу роботи ОУ в режим частих увімкнень [17]. Хоча, є й твердження про те, що при затримках спрацювання датчиків в інтервалі 15-20 хв. СТС ЛЛ може навіть і зрости. Хоча однозначно зрозуміло, що введення будь-якої затримки однозначно знижує енергоефективність систем УО в порівнянні з максимально можливою. Величина економії ЕЕ, за рахунок застосування датчиків присутності, у значній мірі залежить від: *a* – частоти відвідування, обладнаного датчиками присутності, приміщення; *b* – їхнього розташування й надійності; *c* – чутливості [17,18]. При значних затримках на вимикання ДП ефект від їхнього використання може впасти до нуля. У загальному енергоефективність цього методу управління носить імовірнісний характер, а максимальна забезпечувана ним економія ЕЕ оцінюється в 25 %. [11].

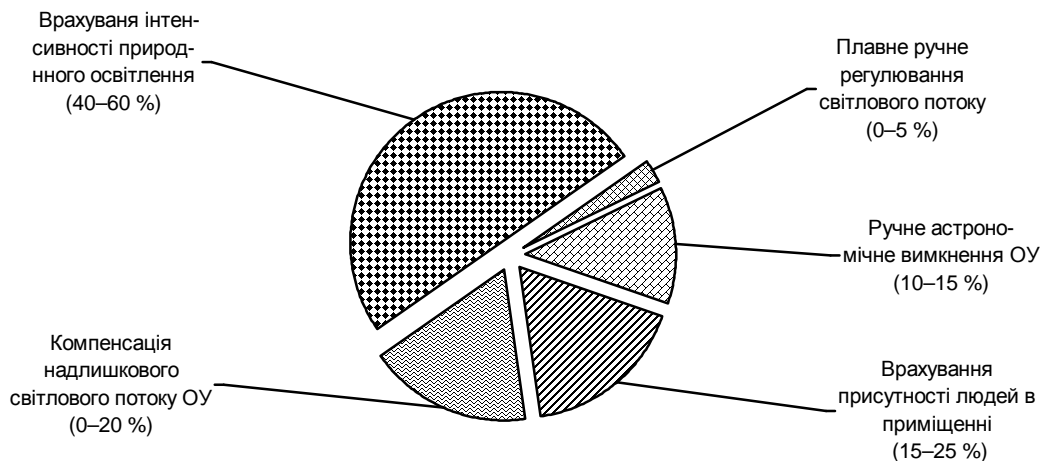


Рис. 1 - Частки в загальному об'ємі зекономленої електроенергії при застосуванні різних методів управління освітленням

Найбільшої економії ЕЕ слід очікувати від впровадження АСУО керованими фотодатчиками, які забезпечують гнучку компенсацію надлишковості світлового потоку, а також ураховують інтенсивність ПО (економія до 70 %). Будь-яка ОУ, спроектована з урахуванням вимог ДБН, практично на протязі всієї СТС ДС виробляє надлишковий світловий потік (за рахунок введення в розрахунки коефіцієнта запасу [19, 20] та надлишкової кількості світильників при заокругленнях у процесі проведення розрахунків та архітектурно-декоративних міркувань), величина якого поступово зменшується й на момент виходу з ладу ДС дорівнює нулю. Надлишок цього потоку може бути скомпенсований (без

будь-якого негативного впливу на СТС [21]) за рахунок зниження потужності ОУ до необхідного значення. Економія ЕЕ в суспільних спорудах із ЛЛ за термін експлуатації ОУ перевищує 10 % позначку.

Урахування ПО в приміщеннях зі світлопроемами забезпечує найбільше зниження об'ємів використаної в ОУ ЕЕ. Об'єм зниження залежить від світлокліматичного району, параметрів світлопроемів та застосованого алгоритму управління ОУ.

Автоматичне управління ОУ ґрунтується на підтриманні заданої сумарної освітленості є найпоширенішим. Системи управління контролюють горизонтальну освітленість (або яскравість горизонтальної поверхні) в одній або декількох контрольних точках приміщення, на підставі чого виставляються необхідні рівні потужності однієї або декількох груп світильників (найчастіше рядів, паралельних вікнам). Існуючі АСУО використовують наступні алгоритми управління:

- стихійне управління, коли кожен самостійний елемент ОУ (світильник або ряд світильників) обслуговується власним ФД незалежно від результатів вимірювання ФД інших рядів [22];
- управління з одночасним регулюванням, коли зміна світлового потоку ОУ відбувається за сигналом одного або декількох ФД [22, 23];
- управління з фіксованою різницею світлових потоків, коли вимірювання освітленості та визначення необхідного світлового потоку здійснюється тільки від одного елемента ОУ, величини потоків інших елементів визначаються шляхом додавання до потоку деякого фіксованого числа [23];
- управління з послідовним розрахунком світлових потоків, коли в ОУ з рядами світильників спочатку встановлюється необхідний потік одного з рядів, а вже потім з урахуванням інтенсивності ПО й потоку першого ряду встановлюється потік наступного ряду, і так до останнього ряду [24].

Дані про області застосування перерахованих алгоритмів в АСУО наведені в табл. 1.

Таблиця 1

## Області застосування алгоритмів управління в АСУО

Алгоритм управління	Область застосування	Приклади систем
Стихійний	АСУО на базі світильників	ELS Etap, Trios Luxsense, Нордкліфф
З одночасним регулюванням	АСУО на базі світильників, АСУО приміщень	Intellect/MLS, Altomat KSV-S Нордкліфф [25], Dali [26]
З фіксованою різницею потоків	АСУО на базі приміщень	Trios LRC1030/1035, Dali
З послідовним розрахунком потоків	АСУО приміщень, АСУО будівель	Luxmate Professional

У процесі експериментальних досліджень установлено, що індивідуальне управління кожним світильником дозволяє добитися абсолютного мінімуму енергоспоживання. У той час як при групуванні світильників важливого значення набуває не тільки кількість груп, але й принцип за яким об'єднані світильники.

Рівномірність розподілу світлового потоку в просторі залежить напряму від місця розташування контрольних точок, у яких відбуваються вимірювання світлового потоку в приміщенні. Недостатня кількість контрольних точок при індивідуальному управлінні всіма світильниками ОУ приводить до концентрації поблизу цих точок найбільш яскравих частин світильників, а також до різкого погіршення рівномірності розподілу контрольованих характеристик світлового середовища. Разом із тим, цей

набір точок забезпечує різну рівномірність розподілу освітленості при різних варіантах групування світильників. При управлінні трьома рядами світильників, розташованими по довжині приміщення, відношення мінімальної освітленості  $E_{\min}$  на робочій поверхні до максимальної  $E_{\max}$  дорівнює 0,19, а відношення  $E_{\min}$  до середньої освітленості  $E_{cp}$  не перевищує 0,33. При управлінні п'ятьма групами світильників  $E_{\min} / E_{\max} = 0,25$ , а  $E_{\min} / E_{cp} = 0,40$ . В той же час при індивідуальному управлінні кожним світильником обидва параметра мінімальні й дорівнюють  $E_{\min} / E_{\max} = 0,05$ ,  $E_{\min} / E_{cp} = 0,09$ . При цьому у всіх трьох випадках ОУ забезпечує відповідність контрольних характеристик нормам у всіх п'яти точках.

Очевидно, що рівномірність освітленості на робочій поверхні буде тим вища, чим більше контрольних точок, які характеризують різні ділянки цієї поверхні. Із цього випливає, що вибір контрольних точок нерозривно пов'язаний із розміщенням та групуванням світильників як із точки зору енергоспоживання, так і з точки зору забезпечення прийнятних умов освітлення. Збільшення числа контрольних точок і роздільно керованих груп світильників забезпечує покращення характеристик рівномірності світлового середовища, однак приводить до суттєвого ускладнення й подорожчання АСУО. Тобто потрібен деякий компромісний варіант, який би при мінімальному числі роздільно керованих груп світильників і контрольних точок забезпечував прийнятне енергоспоживання й задовільну рівномірність розподілу освітленості.

У загальному вигляді при виборі й розміщенні контрольних точок у приміщенні необхідно щоб:

- а) контрольні точки належали зонам, які належать до кожної з роздільно керованих груп світильників;
- в) число контрольних точок було не менше числа роздільно керованих груп світильників;
- г) сумарна площа зон, які контролюються датчиками, повинна дорівнювати корисній площі освітлювальної робочої поверхні;
- д) можливість засвічування або затінення контрольних точок була повністю виключена.

Таким чином, незважаючи на безумовну ефективність роздільного управління кожним світильником із точки зору споживання ЕЕ, рішення про доцільність оптимального алгоритму повинно прийматися на підставі економічних розрахунків енергоефективності ОУ в цілому.

### Висновки

1. Незважаючи на безумовну ефективність роздільного управління кожним світильником із точки зору споживання ЕЕ, рішення про доцільність оптимального алгоритму повинно прийматися на підставі економічних розрахунків енергоефективності ОУ в цілому.
2. Величина економії ЕГЕ залежить від світло кліматичного району, параметрів світлопроектів (площі та забрудненості) та застосованого алгоритму управління ОУ.
3. У місцях тимчасового перебування людей (на сходиноквих клітках багатоповерхових будинків, туалетах тощо) достатньо одного астрономічного реле на будинок і датчиків присутності на кожному поверсі. У світильниках POLARIS 414 A01 Minisensor остання функція вмонтована по замовчуванню.
4. Впровадження АСУО відкриває можливості керування освітленням за сценаріями. Сценарій може створюватися для груп з одного або декількох світильників в одному приміщенні або в цілому будинку й описує роботу кожної виділеної групи світильників у

залежності від часу доби, дня тижня, стану датчиків освітленості й (або) присутності людини в робочій зоні освітлення.

5. Впровадження концепції врахування інтенсивності природного освітлення дає можливість забезпечувати плавне наростання (зменшення) інтенсивності штучного освітлення з настанням сутінок (світанку), що особливо актуально при освітленні учбових закладів. У неробочі години всі світильники, за виключенням аварійних, будуть вимкнені.

6. Додатковим ресурсом зниження енергоспоживання в будівлі є контроль стану всіх світильників з єдиного центру, що дозволяє виключити перерозхід ЕЕ від залишених увімкненими світильників у неробочі години.

### Література

1. Кунгс Я.А. Экономия электрической энергии в осветительных установках. / Я.А. Кунгс, М.А. Фаермак. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
2. Кунгс Я.А. Автоматизация управления электрическим освещением / Я.А. Кунгс – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 112 с.
3. Семенихин Н.И. Энергоэкономичность автоматического управления освещением учебных зданий / Н.И. Семенихин // Светотехника. – 1987. – № 2. – С. 23-25.
4. Кунгс Я.А. О микропроцессорных системах управления освещением / Н.И. Семенихин // Светотехника. – 1990. – № 5. – С. 1-3.
5. Вернер В. Интеллектуальная система управления внутренним освещением / В. Вернер // Светотехника. – 1993. – № 4. – С. 15-19.
6. Краснопольский А.Е. Автоматизация управления освещением – насущная проблема светотехники / А.Е. Краснопольский, Е.А. Краснопольский, В.Б. Соколов // Светотехника. – 1997. – № 5. – С. 2-4
7. Соловьев А.К. Автоматическое регулирование искусственного освещения и его эффективность / А.К. Соловьев // Светотехника. – 1999. – № 5. – С. 2-4
8. Айзенберг Ю.Б. Энергосбережение в освещении. / Айзенберг Ю.Б. – М.: Знак, 1999. – 264 с.
9. Ильина Н.А. Разработка принципов учета естественного света при расчете освещенности в помещениях / Н.А. Ильина, А.Н. Саболаев //Світлолюкс. – 2007. – № 3. – С. 70-73.
10. Baenziger T., Poort W. Management of energy use in lighting systems. - The 8<sup>th</sup> European Conference Lux Europa 1997. Amsterdam 11-14 May 1997. Proceedings. – С. 699-710.
11. Ailing W. R. The integration of microcomputers and controllable output ballasts: A new dimension in lighting control. - IEEE IAS 18<sup>th</sup> Annual Meeting. 3-7 October, 1983. Proceedings. – С. 115-118.
12. Automatic Lighting Controls. // Building Operation Management. – 1987. 34, № 5. – С. 26-28.
13. King H. B. A. A matter of control. // Lighting Journal. – 1992. 57, № 2. – С. 92-94.
14. Hayes N. Controlling lighting costs in offices. // Cadett. – 1995, № 3. – С. 8-9.
15. Wilmshurst P. IFS: Guardian of the Bank. // International Lighting Review. – 1995. № 4. – С. 138-139.
16. Gallina C. Lighting Controls: A New Technology? // Electrical Contractor & Manufacturer. – 1995, №7. – С. 21-24.
17. Maniccia D. They Turn Off the Lights. // IAEEEL Newsletter. – 1996, № 3. – С. 31-34.
18. Knisley J. R. The growing importance of lighting controls. // Electrical Contractor & Manufacturer. - 1995, № 4. – С. 15.
19. The Lighting Manual (fifth edition). - Philips Lighting B. V., 1993. – 467 с
20. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
21. Wigglesworth G. D. Many factors determine efficiency, longevity of fluorescent dimming systems. // Lighting Magazine. - 1996, № 9. – С. 5-6.
22. TRIOS Luminaires. Engineering Manual. - Philips Lighting B. V., 1997. – 62 с
23. Trios Multi-Functional Light Controller. System Handbook LCH 1099/00. - Philips Lighting B. V., 1997.-118 с.
24. Luxcontrol: The Fully Digital Lighting Control System. - Tridonic Lighting
25. Нордклиф. Системы управления освещением. // Світлолюкс. – 2008. – № 3. – С. 32-33.
26. Управление освещением в зданиях по технологии компании Systel // Режим доступа: [Dali\article-2.htm](http://Dali\article-2.htm)

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

З. Я. Монастырский, К. К. Намитоков

*В статье рассмотрены вопросы действенности различных интенсивных способов повышения энергоэффективности осветительных установок. Сформулированы рекомендации по выбору точек для размещения фотодатчиков и зависимости энергоэффективности различных способов управления осветительными установками от светоклиматического района, параметров световых проёмов (площади и загрязнённости) и выбранного алгоритма управления осветительной установкой.*

THE AUTOMATIC CONTROL OF ENERGY EFFICIENCY LIGHTING  
INSTALLATIONS

Z. Monastyrsky, K. Namitokov

*The questions of the effectiveness of various methods of intensive energy efficiency of lighting installations are considered. Recommendations on the selection of points for placing photodetectors and energy dependence of the various ways to control lighting equipment from light-climatic region, the parameters of lights openings (area and pollution) and the selected control algorithm lighting installation are formulated.*